Cementerios nucleares

En Hanford, uno de los complejos nucleares más contaminados del mundo, nadie sabe cuánto costará su limpieza ni el nivel de eficacia que se alcanzará

Glenn Zorpette

El gobierno de Estados Unidos realizará a lo largo de los próximos 75 años, en un vasto desierto al sureste del estado de Washington, el mayor proyecto de obras públicas de la historia del mundo. Cuando esté concluido, tras una inversión de unos 50.000 millones de dólares, no se levantarán sobre sus ruinas ningún centro de lanzamiento de cohetes, ni centrales eléctricas avanzadas, nada que hable de un progreso ilusionante. Apenas si habrá otra cosa que residuos nucleares, millones de toneladas de residuos nucleares, recluidos en una extensa meseta: desde suelos contaminados hasta reactores enteros, sepultados bajo grandes montones de tierra u ocultos en edificaciones anodinas. Y allí se quedarán, durante miles de años probablemente.

Ese es el futuro del recinto de Hanford, el más antiguo complejo de producción de plutonio, perteneciente al Departamento de Energía. De allí salió el plutonio de la bomba que estalló en Nagasaki. Sus 1450 kilómetros cuadrados se han ido degradando desde aquellos días de gloria militar y técnica hasta convertirse en una pesadilla donde se acumulan unas deterioradas y contaminadas instalaciones en las que cada año se gastan, sólo para que sigan siendo estables o seguras, decenas de millones de dólares.

El Departamento de Energía empezó a desactivar y limpiar Hanford en 1989. Según el último recuento, hubo en el complejo unos 14.300 trabajadores contratados y 550 funcionarios. Se calcula que se emprendieron trabajos medioambientales, o habría hecho falta hacerlo, en 1400 lugares distintos. En unos cientos de ellos se habían arrojado deliberadamente residuos nucleares líquidos o sólidos: desde 1944, unos 1300 millones de metros cúbicos de desechos líquidos habrán contaminado el suelo de Hanford.

En los últimos siete años el Departamento de Energía ha gastado 7500 millones de dólares en la limpieza de Hanford. Tiene previsto invertir al menos mil millones de dólares por año durante los cuarenta próximos. Esta limpieza ha despertado un gran interés, y no sólo por las sumas que se manejan. "Es algo totalmente nuevo, no ya industrialmente, sino para la humanidad", dice Roy E. Gephart, jefe de programa de la división de ciencias de la energía y el medio ambiente del Laboratorio Nacional Batelle del Noroeste del Pacífico, instalado en Richland. "A medida que vayamos limpiado ese recinto habrá que ir llegando a difíciles compromisos políticos, sociales y técnicos."

El cuadro

Investigación y Ciencia ha examinado docenas de documentos, algunos no publicados oficialmente aún, e informes recientes, y efectuado numerosas entrevistas con quienes se encargan de la limpieza de Hanford, con los administradores y expertos que trabajan allí y con personas que ocupan puestos clave en el Departamento de Energía y en otros organismos oficiales con sede en Washington. El cuadro que se desprende de esta investigación no es alentador. Además del suelo y del agua contaminados reclaman atención muchas otras causas potenciales de desastres; por ejemplo:

- 177 enormes tanques subterráneos de residuos nucleares de alto nivel, algunos de los cuales tienen fugas o están acumulando calor o gases inflamables.
- Doce toneladas, por lo menos, de plutonio peligroso, que en parte se encuentran en el suelo o de alguna otra forma insegura.
- Cinco gigantescos edificios muy contaminados, donde se extraía el plutonio del combustible nuclear irradiado.
- 2100 toneladas de combustible irradiado que se guardan en estanques; un terremoto podría convertirlos en cubos de basura radiactivos, letales.

Ni un solo aspecto del proyecto de Hanford deja de plantear problemas inquietantes: sobre la idoneidad y eficacia del trabajo que se lleva a cabo, sobre la redacción de los contratos de limpieza, sobre la posibilidad de que un fallo desencadene un desastre radiológico. Con todo, se ha dado un paso importante en los últimos siete años, un acuerdo gracias al cual se han puesto a trabajar juntas las partes con intereses enfrentados que han firmado el estado de Washington, el Departamento de Energía y la Agencia de Protección del Medio Ambiente. Sin embargo, el propio compromiso estampado se ha convertido en una rémora a la hora de planificar y determinar las propiedades, según han descubierto varios estudios.

"Llevamos seis años con esta limpieza, y no hemos pasado todavía de la primera piedra", dice un experto que lleva en Hanford cuatro lustros. "Ni un solo programa —de limpieza de depósitos, de depuración de aguas o de lo que sea— ha durado más de dos años. Carecemos de guión, con las correspondientes inversiones, a un plazo

suficientemente largo para que se avance."

La herencia de la guerra fría

Por imponente que sea el proyecto de Hanford, constituye sólo una fracción —un quinto más o menos— de un programa del Departamento de Energía encaminado a cerrar buena parte de su sistema de producción de armas nucleares a lo largo del siglo que viene. Los cálculos del coste van de 230.000 millones de dólares a más de medio billón, bastante más que los 375.000 millones, en dólares actuales, que costó la investigación y la construcción de las decenas de miles de armas nucleares montadas en los Estados Unidos y la detonación de las alrededor de 1000 que se ensayaron.

La imprecisión de las estimaciones de tiempo y costes tiene que ver con la falta de acuerdo acerca del nivel de limpieza en que deben quedar los recintos nucleares el remoto y quizá quimérico día en que se los declare rehabilitados oficialmente. "No podrá haber limpieza en el sentido habitual de la palabra, como si se tratara del suelo de la cocina o una planta química", advierte James D. Werner, director de planificación estratégica y análisis de la Oficina de Gestión Ambiental del Departamento de Energía. "Hablamos de sustancias que no desaparecerán hasta que se desintegren. Podemos confinarlas en barriles, solidificarlas, inmovilizarlas, trasladarlas, pero no hacerlas desaparecer."

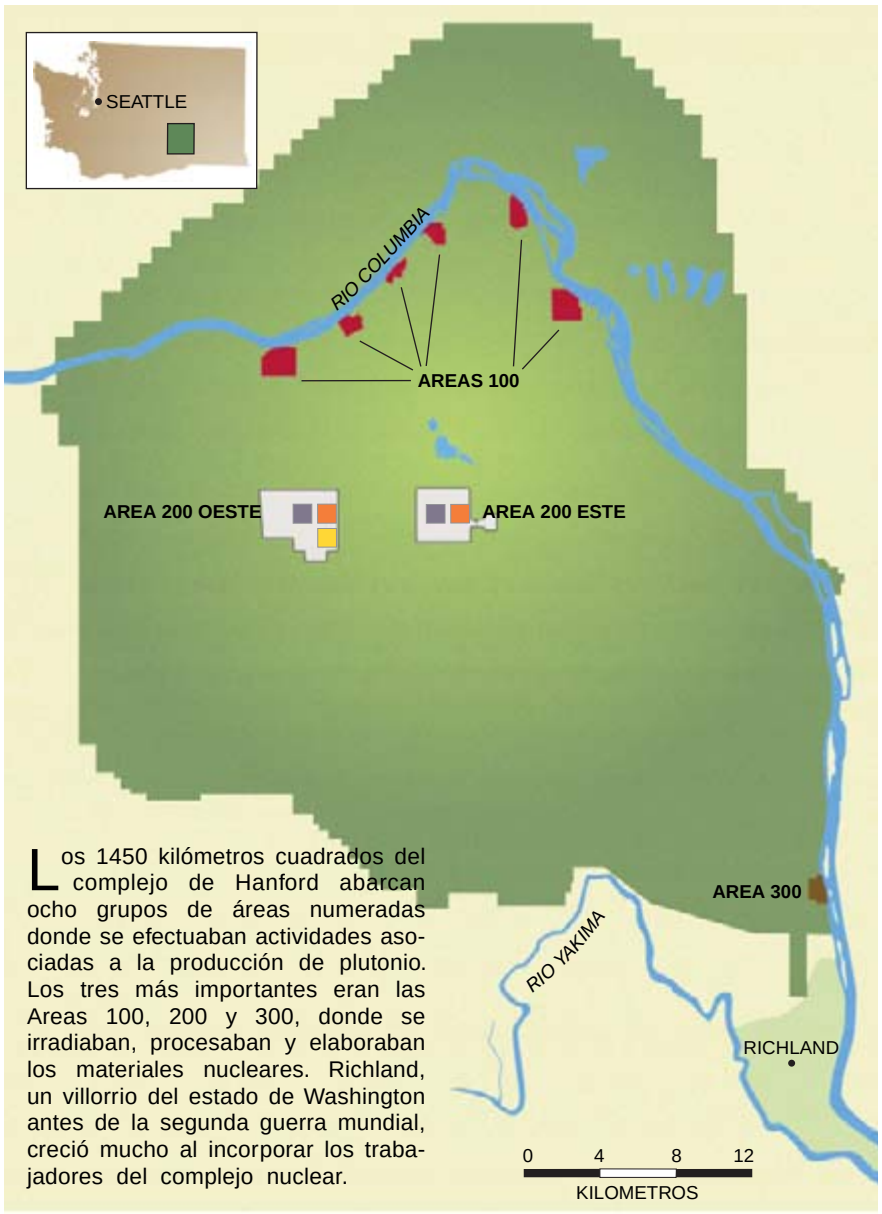
Para saber cómo y por qué se creó semejante complejo hace falta un poco de historia. A partir del proyecto Manhattan, Estados Unidos desarrolló una industria armamentística colosal. Buena parte de la misma se dedicó a la generación de plutonio, elemento básico de las armas nucleares y el tesoro más preciado de la guerra fría. Este metal deriva del uranio, que se procesaba, es decir, se convertía en combustible nuclear, en instalaciones radicadas en los estados de Idaho, Kentucky, Ohio y Tennessee.

El uranio se irradiaba y trataba químicamente para crear el plutonio en Hanford (estado de Washington) y Aiken (estado de Carolina del Sur). El metal de plutonio se transformaba en componentes de bombas en Rocky Flats (Colorado). Estas piezas se ensamblaban con otros cientos de elementos para construir las bombas completas en la factoría Pantex, instalada en el *Panhandle* de Texas (su entrante entre Nuevo México y Oklahoma).

Con mentalidad de guerra fría lo primordial era la producción. A los organismos responsables de los com-

1. EL DEPOSITO DE RESIDUOS NUCLEARES de alto nivel se encuentra unos tres metros bajo el suelo. Las tomas y tuberías verticales permiten el acceso de instrumentos de control y de extracción de muestras de los residuos. Esos tubos de entrada están sellados con las placas que se ven en la fotografía.

Así se contaminó Hanford



Los 1450 kilómetros cuadrados del complejo de Hanford abarcan ocho grupos de áreas numeradas donde se efectuaban actividades asociadas a la producción de plutonio. Los tres más importantes eran las Areas 100, 200 y 300, donde se irradiaban, procesaban y elaboraban los materiales nucleares. Richland, un villorrio del estado de Washington antes de la segunda guerra mundial, creció mucho al incorporar los trabajadores del complejo nuclear.

REACTORES NUCLEARES
Menos uno, los nueve reactores nucleares de Hanford que creaban el plutonio en sus varillas de combustible tomaban agua del río Columbia; ésta refrigeraba los reactores y se vertía de nuevo en el río. Cuando los revestimientos del combustible se rompían, los elementos radiactivos contaminaban el agua, ésta se desviaba hacia el suelo y retornaba al río. Además, todos los reactores tenían cerca sus propios cementerios; allí se arrojaban los objetos sólidos, algunos sumamente radiactivos.

CAÑONES DE REPROCESAMIENTO
Se construyeron cinco cañones de reprocesamiento (tres en el Area 200 oeste y dos en el Area 200 este) para extraer el plutonio a partir del combustible nuclear irradiado. Se vertieron en la tierra millones de metros cúbicos de aguas residuales contaminadas radiactiva y químicamente, aunque no en un nivel excesivo. En los años cuarenta y principios de los cincuenta se inyectaron, a decenas de metros bajo el suelo, los residuos más intensamente radiactivos de una de las plantas. Al mismo tiempo, dos plantas liberaron grandes cantidades de yodo radiactivo a la atmósfera.

DEPOSITOS DE RESIDUOS DE ALTO NIVEL
Un total de 177 depósitos (91 en el Area 200 este y 86 en el Area 200 oeste) almacenan 210.000 metros cúbicos de residuos nucleares muy radiactivos, producto secundario del reprocesamiento. Se sabe o se sospecha que de 67 de esos tanques se han fugado unos 3700 metros cúbicos de desechos muy radiactivos, que han ido a parar al suelo.

PLANTA DE ACABADO DEL PLUTONIO
De esta planta se bombearon, tierra abajo, residuos que contenían elementos transuránicos, como el plutonio y el americio. También se vertieron muchos solventes industriales y otros contaminantes químicos: tetracloruro de carbono, tributilfosfato, nitruro fluoruro de aluminio y grasa de cerdo (que se usaba de lubricante para cuchillas en el proceso de mecanización a que se sometía el metal de plutonio).

INSTALACIONES EXPERIMENTALES
Hay en el Area 300 un laboratorio de plutonio, instalaciones de fabricación de combustible nuclear y seis reactores de pruebas. Los laboratorios y las instalaciones vertieron a veces en la tierra residuos y líquidos que contenían uranio; los reactores, refrigerantes contaminados.

plejos de fabricación de armas, empezando por la Comisión de Energía Atómica en los años cuarenta, la degradación del medio no les preocupaba en absoluto. (Tampoco parece que al Congreso le importase mucho.) Ni el Departamento de Energía ni sus predecesores estaban sometidos a ningún control externo. Por lo que ahora sabemos, ocultaron las operaciones que se hacían en los complejos y las condiciones en que se ejecutaban, cuando no mintieron sobre ellas.

Esta actitud empezó a cambiar a mediados de los años ochenta. Varias sentencias de los tribunales federales señalaron un cambio de rumbo y establecieron que las leyes y las regulaciones federales y de cada estado eran aplicables a las actividades del Departamento de Energía. (Pese a todo, el propio Departamento de Energía dicta la normativa cuando se trata de materiales nucleares como el uranio y el plutonio.) A finales de los años ochenta, la prensa empezó a publicar noticias sobre la magnitud de la contaminación alcanzada en algunos complejos. Así se intensificaron las presiones sobre el departamento para que cambiase drásticamente sus actividades con repercusión en el medio ambiente y en la seguridad.

Para el Departamento de Energía fue difícil, a veces traumático, convertirse en un organismo sujeto a regulación externa. En el complejo de Rocky Flats, cerca de Denver, donde los contratistas del Departamento sometían a elaboración el plutonio, las acusaciones de que se habían violado las leyes ambientales y deteriorado de forma peligrosa las condiciones provocaron una inspección federal, a la que siguió una querella contra el principal contratista de la planta, Rockwell International. El pleito se zanjó con un acuerdo: Rockwell pagó una multa de 18,5 millones de dólares y se retiraron los cargos. El Departamento de Energía encaró lo inevitable y creó la Oficina de Gestión del Medio Ambiente, ente que este año recibirá 6026 millones de los 16.300 millones de dólares del presupuesto total del Departamento

(aún van 3400 millones de dólares a la fabricación de armas).

Con Hazel R. O'Leary en la secretaría del Departamento se han entreabierto las puertas. Sabemos así que el departamento y sus contratistas generaron cientos de miles de metros cúbicos de residuos muy radiactivos y peligrosos y miles de millones de productos menos radiactivos. El organismo admite ahora que se vertieron sin más cantidades ingentes de líquidos y sólidos en el suelo. La mayoría de los desechos contienen contaminantes tanto radiactivos como químicos.

En algunos vertederos deliberados se hicieron cálculos para determinar cuánto contaminante podría absorber el suelo suprayacente a la capa freática; se suponía que los operarios deberían limitar las descargas al diez por ciento de esa cantidad umbral. A juzgar por los graves problemas que ha habido con las aguas subterráneas en casi todos los complejos del Departamento de Energía, rara vez se procedió de esa forma, o se hizo inadecuadamente. En los últimos años han entrado en funcionamiento plantas de tratamiento de los efluentes líquidos para purificar las descargas antes de que vayan a parar a la tierra.

Hubo otros vertidos accidentales. Casi todos se debieron al descuido: los viejos depósitos de almacenamiento tenían a veces fugas de residuos radiactivos que penetraban en el suelo, y lo mismo pasaba con el agua contaminada de los estanques que contenían combustible nuclear consumido u otros materiales. Se liberaron también millones de curies en forma de materiales radiactivos potencialmente dañinos al aire y a los ríos, en Hanford y en otros recintos, a veces deliberadamente.

Parte del daño provocado permanecerá. Carecemos de técnicas de limpieza adecuadas o no podrán nunca rebajar el nivel de radiación. En Hanford, por ejemplo, una bolsa de agua freática contaminada con tritio, nitratos y otros ocupa una extensión de al menos 250 kilómetros cuadrados y se está filtrando en el río Columbia, que recorre 82 kilómetros del recinto. Es casi imposible separar el tritio, isótopo radiactivo del hidrógeno, del agua. Esa bolsa radiactiva es sólo una de las muchas que hay allí. Entre todos los complejos armamentísticos se habrán contaminado miles de millones de metros cúbicos de suelo, aguas freáticas y superficiales. Son, con sus equivalentes de la que fuera Unión Soviética, los yermos campos de batalla de la guerra fría.

Ciento setenta y siete tanques de pesadilla

El Departamento de Energía se ha centrado sobre todo en la estabilización y depuración de Hanford, constituido en una suerte de campo de pruebas para los demás complejos donde la labor está menos avanzada, entre ellos los de la antigua Unión Soviética. Este año se gastarán en Hanford 1353 millones de dólares del presupuesto de Gestión del Medio Ambiente, la partida mayor.

Pero no da la impresión de adelantarse mucho. Quizá la razón estribe en que la depuración del suelo y del agua contaminados sea una de las tareas menos apremiantes. Urgen más los 177 depósitos de residuos de alto nivel, trabajo que es, a gran distancia de los demás, el mayor, el más complejo y el más caro. Sólo este empeño podría costar 50.000 millones de dólares. Y, sin embargo, hasta hace poco, de los tanques se ocupaban los trabajadores menos especializados de Hanford. Era "una Siberia para los negligentes del complejo", dice Roger F. Bacon, vicepresidente de Westinghouse Hanford Company, responsable de la obra.

Los depósitos almacenan 210.000 metros cúbicos de residuos nucleares radiactivos de alto nivel. La mitad casi de los 450 millones de curies de radiactividad que se acumulan en Hanford reside en esos tanques: una mezcla infernal de líquidos, gases, cienos y pétreos "terrones de sal". Se sabe o se sospecha que en 67 de los 177 depósitos ha habido fugas que han vertido al suelo unos 3700 metros cúbicos de desechos. Hay vigilancia permanente sobre 54 tanques; la razón del control se debe a que en el interior de la mitad de ellos se han formado en alguna ocasión gases inflamables y se ha corrido el riesgo, pequeño, eso sí, de que se produjese una explosión química que liberara la radiación. El Departamento de Energía se gasta 80 millones de dólares al año sólo en la conservación de los depósitos y en mantenerlos seguros.

El contenido de los tanques se generó como subproducto de la separación del plutonio del combustible nuclear consumido. Nada menos que 149, entre ellos los 67 que han experimentado fugas, están formados por paredes simples de acero cubiertas con hormigón armado; los demás tienen paredes dobles, más resistentes a las fugas. Aunque debían almacenar productos con semividas de miles de años, los tanques se diseñaron para durar sólo 25 años; pese a lo cual, no se los dotó de medio alguno para drenar los residuos.

Los primeros depósitos de pared simple se terminaron en 1944. Se supo en 1959 que algunos habían tenido fugas. "Pero siguieron construyéndolos hasta 1964 y no dejaron de introducir en ellos residuos hasta 1980," señala Andrew P. Caputo, del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales. Los depósitos contienen desechos procedentes de tres técnicas de reprocesamiento distintas. Se emplearon periódicamente procesos químicos para extraer de ellos isótopos útiles o peligrosos. Cuando alguno tenía fugas, se pasaban los residuos de tanque en tanque —con lo que, inevitablemente, se mezclaban— para evitar los contenedores con escapes.

En consecuencia, nadie sabe con exactitud qué hay en los depósitos. Un conocimiento, sin embargo, que no puede demorarse. Existe un acuerdo legal con el estado de Washington que obliga al gobierno federal a mezclar los desechos con cristal (técnica de vitrificación) a fin de poder retirarlos a un cementerio de residuos nucleares de alto nivel. Pero no podrán vitrificarse mientras se desconozca su composición. Sus ingredientes podrían ser diferentes incluso en partes distintas de un mismo tanque.

El programa de "caracterización de los residuos de los depósitos", cuyo objetivo es especificar qué hay en éstos, se ha convertido en pararrayos de todas las críticas. "Llevan con eso diez años, se han gastado 260 millones de dólares y apenas si todavía pueden tomar muestras a un ritmo razonable", se queja William R. Swick, de la Oficina General de Contabilidad. A la dificultad que entraña tomar muestras en un medio de altísima radiactividad y toxicidad, hay que sumar la multiplicidad de estados físicos y la actividad química que se está operando en los residuos.

Los lingotes mortíferos

Durante 40 años, y procedentes de las instalaciones de reprocesamiento, se llevaron soluciones de nitrato de plutonio a la planta de acabado del recinto, donde se lo convertía en "botones" plomizos y romos, para su posterior mecanización. En Hanford se almacenan once toneladas de plutonio, en gran parte en condiciones estrictas de seguridad dentro de los contenedores de la planta de acabado. Se calcula que

2. LOS "BOTONES" DE PLUTONIO eran el único producto de Hanford. Estaban hechos del isótopo 239 del plutonio. Se enviaban a Colorado, donde se los elaboraba convirtiéndolos en componentes de bombas. Este metal tiene que manejarse en cajas con guantes, porque basta una cantidad ínfima para producir cáncer de pulmón.

quedará, además, tonelada y media de residuos dispersa en los suelos del recinto o en las conducciones y filtros de sus instalaciones.

El plutonio se encuentra en muchas formas distintas en Hanford. Hay rebabas minúsculas; está presente en lodos y en 3500 litros de nitratos y otras soluciones. En la planta de acabado ha empezado la limpieza de los innumerables conductos de aire, filtros y "cajas con guantes" donde se extraía y manejaba el metal. Se está llevando además el plutonio a la planta de acabado desde otros emplazamientos de Hanford para congregarlo todo en un mismo punto. La mayor parte se convertirá para su almacenamiento a largo plazo en óxidos o en otras formas pulverulentas aceptablemente estables. El trabajo resulta lento y costoso, pues el plutonio es sumamente peligroso: 27 microgramos en los pulmones pueden causar un cáncer.

Los trabajadores deben además tener cuidado con la masa crítica del metal, que puede constituirse con sólo 11 kilogramos. Si se deja que llegue a acumularse en un lugar, una reacción de fisión en cadena desprenderá una cascada letal de neutrones y radiación gamma. En la historia norteamericana de las armas nucleares ha habido, que se sepa, ocho sucesos de masa crítica y dos muertes, ambas en Nuevo México, a mediados de los años cuarenta.

En los últimos tiempos ha faltado muy poco para que ocurriesen esas "infracciones de la criticalidad". A finales de septiembre de 1994 un trabajador, extrayendo el líquido de un depósito de Rocky Flats, dejó cinco litros de solución de plutonio muy concentrada en lo que la Junta de Seguridad de las Instalaciones Nucleares de la Defensa llamó "una geometría potencialmente insegura". Muy poco faltó también hace varios años en el complejo de Idaho, cuando unas masas de combustible suspendidas en un estanque cayeron al fondo cerca unas de otras. A mediados de los años ochenta se declaró al complejo de Hanford lugar de riesgo en caso de terremoto. Se comprobó que un temblor podría romper las juntas, por donde se escaparían a la atmósfera los compuestos de uranio.

Los planes para hacerse cargo del plutonio retirado —no sólo en Hanford sino también en Rocky Flats, Savannah River y Pantex— tropiezan con la incapacidad del Departamento de Energía para decidir si debería guardarse para un posible uso en el futuro. El Departamento de Energía gasta unos 82 millones de dólares por año en el mantenimiento del plutonio sólo de la planta de acabado de Hanford.

Unos cañones muy caros

Las plantas de reprocesamiento, donde se extraía del combustible irradiado el plutonio antes de enviarlo a la planta de acabado, son otra carga financiera. En Hanford hay cinco, instaladas en unos edificios de hormigón, los *cañones*, en el sentido geográfico de la palabra. El tamaño de algunos es parecido al que tendría el Empire State Building si estuviese tumbado. La radiación que contienen, todos, va de moderada a letal. Las superficies interiores, los filtros de aire y los sistemas de conducciones portan grandes cantidades de elementos radiactivos peligrosos.

En uno de los cañones, la llamada planta B, los filtros de aire pueden haber acumulado hasta 100 millones de curies de cesio y estroncio radiactivos. Ante tanta radiactividad concentrada será dificilísimo demoler el edificio, como exigen los acuerdos entre el gobierno federal y el estado. No se dispone de un cálculo mejor de la radiactividad; es tan alta que "no tenemos instrumentos que la midan con precisión", admite un experto de Hanford.

Los cañones están muy reforzados, para resistir bombardeos, y los pesados blindajes de sus paredes no dejan escapar la radiación. En estos momentos el mantenimiento y la vigilancia de cada una de las cinco plantas de reprocesamiento cuesta de 35 a 45 millones de dólares al año. Pese a todos los inconvenientes, el Departamento de Energía y la Westinghouse Hanford se proponen descontaminar la planta B y otro cañón, el Purex; esperan dejarlos en un estado que no requiera demasiados cuidados. Los proyectos trianuales pretenden reducir los gastos a uno o dos millones de dólares al año.

Pero seguirá siendo necesario gastar 10 millones de dólares al año en la planta B para conservar la instalación de almacenamiento y encapsulado de residuos. En ella hay unos estanques de agua que enfrían y blindan unas 1900 cápsulas, cada una de las cuales contiene cesio 137 o estroncio 90. Los isótopos se

retiraron hace años de los depósitos de desechos de alto nivel para que éstos fueran menos calientes térmica y radiológicamente.

Aunque los isótopos tienen una semivida de unos treinta años, el nivel de radiación en la superficie de las cápsulas basta para que la dosis que una sola suministra en cuatro segundos sea fatal. La radiación es tan intensa, que su interacción con el agua que rodea los recipientes causa un resplandor azul brillante. Algunos analistas cuestionan que las cápsulas se conserven como están ahora durante mucho tiempo. Para Blush y Heitman, "no hay ningún fundamento científico que le permita a Hanford asegurar que se puede confiar en WESF [la instalación de almacenamiento y encapsulado] para el almacenamiento seguro a largo plazo de esas cápsulas".

Las cápsulas de cesio y estroncio son la punta del iceberg del inventario de residuos radiactivos sólidos de Hanford. El Departamento de Energía y sus contratistas han estado almacenando en estanques de agua que tienen ya 40 años 2100 toneladas de combustible nuclear consumido, en buena parte corroído y liberador de elementos radiactivos en el agua de esas piscinas. Un terremoto podría derramar hasta 9000 metros cúbicos de agua contaminada en el suelo y el río, con lo que la radiación del contorno subiría hasta niveles letales y se dispersarían por el aire finas partículas radiactivas. Podría y ocurrió. De los estanques se filtró abundante agua contaminada en los años setenta y, en menor medida, en 1993. (No se dispersó radiación en la atmósfera porque las fugas fueron lentas, gracias a lo cual se pudo echar más agua de forma que las masas de combustible siguiesen sumergidas.)

El departamento de energía gasta unos 30 millones de dólares al año en mantener las piscinas en ese inquietante estado. Pero está a punto de emprenderse un programa de choque de 700 millones de dólares que transformará el combustible para que pueda almacenarse en seco de forma estable en un embalse provisional sobre unos suelos elevados. Cuando se haya completado, hacia el año 2000, se espera que los costos de mantenimiento caerán a alrededor de un millón de dólares por año. Como pasa con el plutonio y las cápsulas de cesio y de estroncio de Hanford, el destino final del combustible consumido es incierto.

Una nueva "limpieza"

En total, unos 600 millones de dólares del presupuesto anual de Hanford se van en pagar la "hipoteca" de la guerra fría: mantener seguros edificios y plantas, muchos viejos y en mal estado, e impedir que escape de ellos más radiación al aire, al agua y al suelo. Aparte de las grandes sumas necesarias para pagar la hipoteca, hay otras razones más complejas que explican que se haya avanzado tan poco en la limpieza.

El tiempo que los contratistas del Departamento de Energía en Hanford no ocupan en impedir que los riesgos inminentes se conviertan en desastres, lo dedican a congregar contaminantes que se habían retirado inadecuadamente o están cerca de las aguas freáticas o del río; los acumulan con más cuidado y sistemáticamente en la llamada Area 200. Comprende ésta las plantas de reprocesamiento y los depósitos de desechos de alto nivel, y se encuentra en una meseta, a unos 75 metros sobre las aguas subterráneas. En ese llano se concentraba ya alrededor del 70 por ciento de los focos de residuos de Hanford; se trata, pues, de allegar el 30 por ciento restante.

Lugar de destino de miles de toneladas de residuos y de contaminantes del suelo, en el Area 200 se construirán un edificio de almacenamiento, una suerte de cementerio provisional para las 2100 toneladas de combustible consumido estabilizado, y otra instalación para los desechos inmovilizados de alto nivel de los 177 tanques gigantes. Antes del 2070, el Departamento de Energía deberá haber enterrado en el Area 200 ocho de los nueve bloques de reactores (los núcleos de los reactores de producción donde se insertaban las varillas de uranio) y sus pedestales de hormigón.

Cada bloque de reactor y su pedestal comprenden un enorme par de losas muy radiactivas que pesan 15.000 toneladas. El plan director establece que se las acarreará al Area 200 con un vehículo que costará 40 millones de dólares. Se ha cifrado el costo adicional de trasladar los reactores —muchos analistas preferirían enterrarlos *in situ*— en 500 millones de dólares.

Cuando se hayan juntado, estabilizado, guardado en contenedores y situado de nuevo en el Area 200 los cientos de miles de toneladas de residuos, la meseta entera se habrá convertido en un cementerio, una "zona sacrificada" en el lenguaje eufemístico de los políticos. Y probablemente lo seguirá siendo durante miles de años.

¿Hasta qué punto quedará entonces limpio Hanford? El gobierno de los Estados Unidos no tiene todavía unas normas que sirvan para determinar si una limpieza radiológica es completa. El objetivo de devolver Hanford a su condición original —lo que es del todo imposible, como deja meridianamente claro hasta el análisis más rudimentario— ha quedado arrumbado. Como dice Michael V. Berriochoa, portavoz

3. TRANSPORTAR PLUTONIO no es un juego de niños, aunque parezca lo contrario. Gracias al asa, los trabajadores están a más de un metro del contenido del carro mientras tiran de él, lo que minimiza la exposición a la radiación. Además, los soportes cilíndricos del carro separan de manera segura las latas que contienen el material para que, aunque se vuelque, no pueda producirse una reacción nuclear en cadena.

4. ESTOS BIDONES DE DISOLVENTES contaminados se enterraron, sin más, en el suelo hace 35 años; casi todos ellos se han deteriorado y han sufrido fugas. Pero, al contrario de lo que sucede en muchos de los 1400 emplazamientos de residuos de Hanford, la contaminación se mantuvo, hasta cierto punto, confinada.

de Westinghouse Hanford, "no hay bastante dinero en el mundo".

Aunque la peculiar naturaleza de Hanford desafía a menudo la manera corriente de calibrar la limpieza, hay sobrados indicios de que buena parte de lo realizado ha sido puro derroche. Según el propio Departamento de Energía, los proyectos de limpieza emprendidos entre 1989 y 1994 fueron de un 30 a un 50 por ciento más caros que las iniciativas análogas del sector privado. El método de contratación tradicional del Departamento de Energía, el sistema de "pluscoste" o reembolso de los costes, penaliza la eficacia y el control de los gastos. La Administración reembolsa al contratista todos los gastos que le haya supuesto la realización de un producto o de un servicio. Además, el contratista recibe a modo de beneficio un porcentaje; cuanto más se gaste, mayor será el beneficio. Este sistema se arrastra de los primeros días de la carrera de armamentos, cuando se desconocían los riesgos y los costos, que no dejaban de cambiar.

El Departamento de Energía y Westinghouse Hanford se enfrentaron en 1994 a estos problemas cambiando el tipo de contrato. Adoptaron el basado en el rendimiento, que consiste en dividir las tareas en objetivos más abarcables con resultados concretos. La compensación del contratista depende, total o parcialmente, de cuándo cumpla esos objetivos y de lo bien que lo haga.

El martillo legal

Pero la redacción de los contratos no es, en absoluto, el problema principal de Hanford. El Departamento de Energía, la Agencia de Protección del Medio Ambiente y el estado de Washington firmaron en 1989, por los días de registro de Rocky Flats, un Acuerdo Tripartito minucioso que regula casi todos los aspectos del trabajo medioambiental en el recinto. El Acuerdo, que lista actividades y objetivos concretos y puede sancionar al Departamento de Energía si los incumple, fue el modelo de muchos otros documentos, los llamados acuerdos de cumplimientos, que rigen el trabajo medioambiental en varios recintos del Departamento de Energía. Si se deja aparte el déficit federal, el coste de las obras comprometido en los acuerdos de cumplimientos a efectuar en la limpieza de todos los complejos representa la carga más onerosa que se ha echado a sus espaldas el gobierno de la nación.

Nadie niega que el Acuerdo Tripartito fue un hito a partir del cual el Departamento de Energía y el estado de Washington trabajaron juntos. Como es un documento vinculante, resulta poco probable que el Departamento de Energía —o el Congreso— abandone el complejo de Hanford en 10 o 20 años. Pero cabe que, ocultas por tales logros, se pasen por alto las deficiencias del Acuerdo Tripartito. Cuando se redactó hace siete años, le impuso al Departamento de Energía una selva de regulaciones medioambientales estatales y gubernamentales que se superponían y a veces entraban en contradicción.

Además de las leyes estatales y federales, los contratistas del Departamento tienen que seguir cumpliendo las "órdenes" promulgadas por éste aún vigentes que dictan cómo deben realizarse las obras. Las 466 órdenes, dice Caputo, abogado del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales, "puntillosas y reiterativas, pertenecen a otra época". Además, el departamento y sus contratistas añadieron a finales de los ochenta una forma de supervisión más con la Junta de Seguridad de las Instalaciones Nucleares de la Defensa, un organismo del ejecutivo. Más recientemente, una comisión asesora de Hanford ha unificado la supervisión conjunta. "Nadie ha pretendido jamás aplicar todas esas regulaciones a la vez, no digamos ya en unas instalaciones de ese tenor", comenta Gephart, del Laboratorio Battelle.

Semejante maraña de normas y supervisiones externas ha abortado la creación de una regulación coherente, racional y basada en el cálculo de los riesgos para el complejo tomado como un todo. Muchas de las prioridades fueron establecidas por los acuerdos de cumplimientos, que fijaron un calendario vinculante, de los proyectos y los resultados. Pero el Departamento de Energía, sus contratistas y el estado llegaron finalmente a la conclusión de que el calendario propuesto en el Acuerdo Tripartito original de Hanford "no podía ser menos realista", se queja Caputo. Hasta ahora el estado de Washington y el gobierno federal han renegociado el documento cuatro veces, en un intento de acercarlo más a la realidad. Cada renegociación es "un proceso agónico, y se llega a un sinfín de cláusulas obligatorias", dice Chris Abraham, de la Oficina General de Contabilidad.

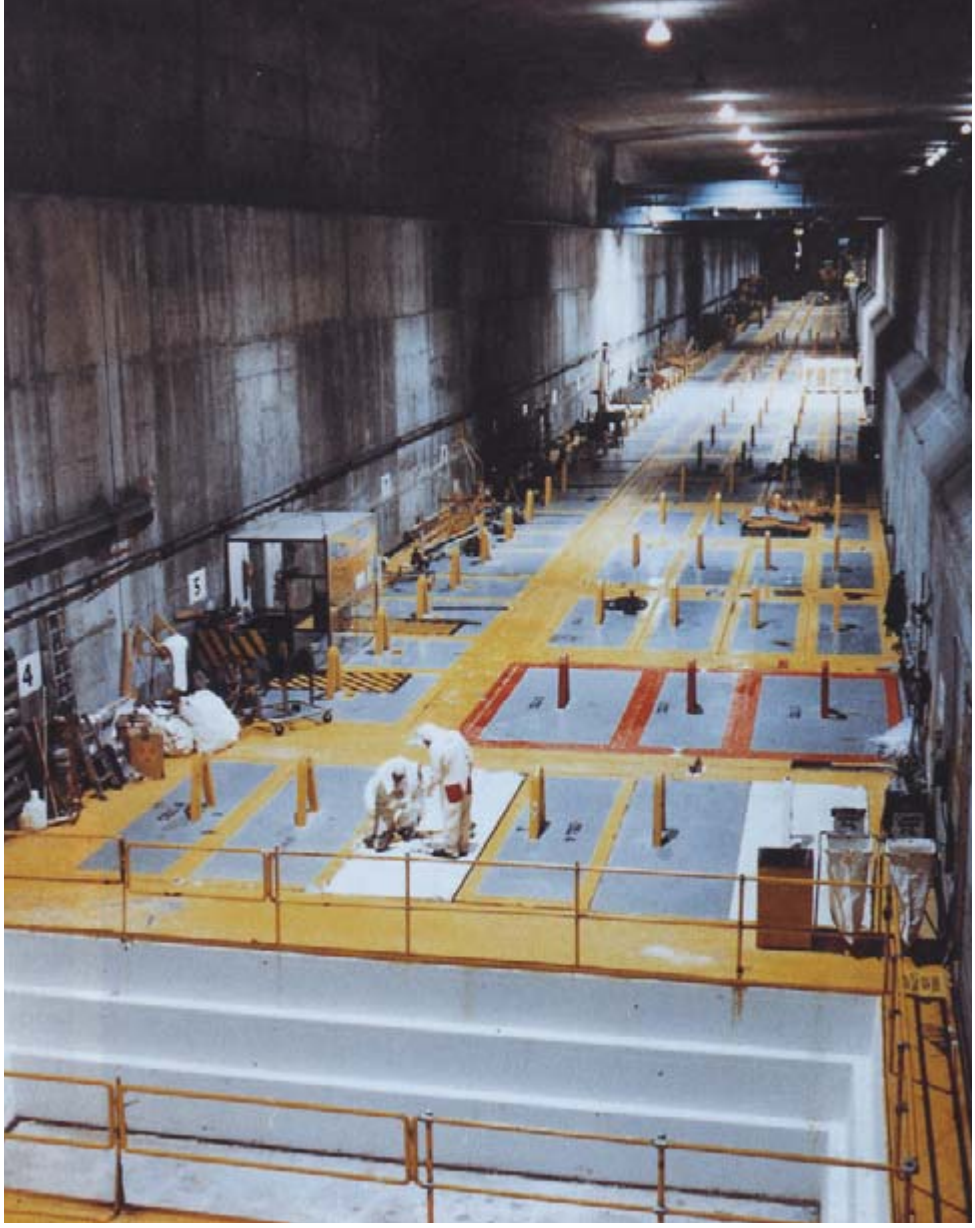
El que no haya habido un enfoque coherente a la hora de sentar las prioridades, que abarcase el complejo entero, ha salido caro. No hay problema en Hanford que no se convierta en una prioridad urgente —y objeto de inversiones de cientos de millones de dólares— por razones fundamentalmente políticas. Aún son visibles en Hanford los vestigios de varios proyectos abortados, como los cimientos de una macroinstalación para la vitrificación de residuos de alto nivel y una planta para mezclar los desechos líquidos de bajo nivel con cemento, más las instalaciones anejas donde se habrían guardado los resultantes bloques de mortero.

(Que arrojaron por la borda cientos de millones de dólares.) El cambio constante de las prioridades ha arruinado también los proyectos de desarrollo técnico. "Por desgracia, los ciclos temporales de los cambios de programa han sido mucho más cortos que los ciclos temporales del desarrollo tecnológico", remacha Billy D. Shipp, del Laboratorio Battelle.

Hay también ejemplos más simples de los fallos del Acuerdo Tripartito. Conforme a las estipulaciones de éste, el Departamento de Energía gasta unos 23 millones de dólares al año en el tratamiento experimental de las aguas freáticas de Hanford. Sin embargo, varios estudios han hallado que las técnicas actuales —variantes todas de un método llamado "bombear y tratar"— resultan inadecuadas. En el mejor de los casos, los procedimientos del tipo "bombear y tratar" sólo podrían mejorar o retener modestamente algunas de las bolsas existentes contaminadas. "Podríamos bombear y tratar las aguas freáticas de Hanford todo el siglo que viene y gastarnos decenas de miles de millones de dólares, y todavía no tendríamos unas aguas freáticas limpias", explica Gephart.

Hay un proyecto cuyo objeto es cortar la filtración de estroncio en una fuente natural cerca del reactor "N" y el río Columbia. En cumplimiento del Acuerdo Tripartito y las exigencias del estado, Bechtel Hanford, contratista del Departamento de Energía, gasta 4,8 millones de dólares en bombear y tratar el agua de la fuente para retirar el estroncio. En los próximos años Bechtel espera construir una barrera subterránea de un material llamado clinoptilolita, que absorberá y retendrá el estroncio.

El único propósito de toda esa obra es impedir que llegue al río hasta la mínima cantidad de estroncio: su radiactividad anual, según la última evaluación, es de un cuarto de curie. Para ver en perspectiva esta cantidad, sépase que el Columbia recibe cada año unos 6000 curies de las fuentes naturales de Canadá y el norte de Washington.

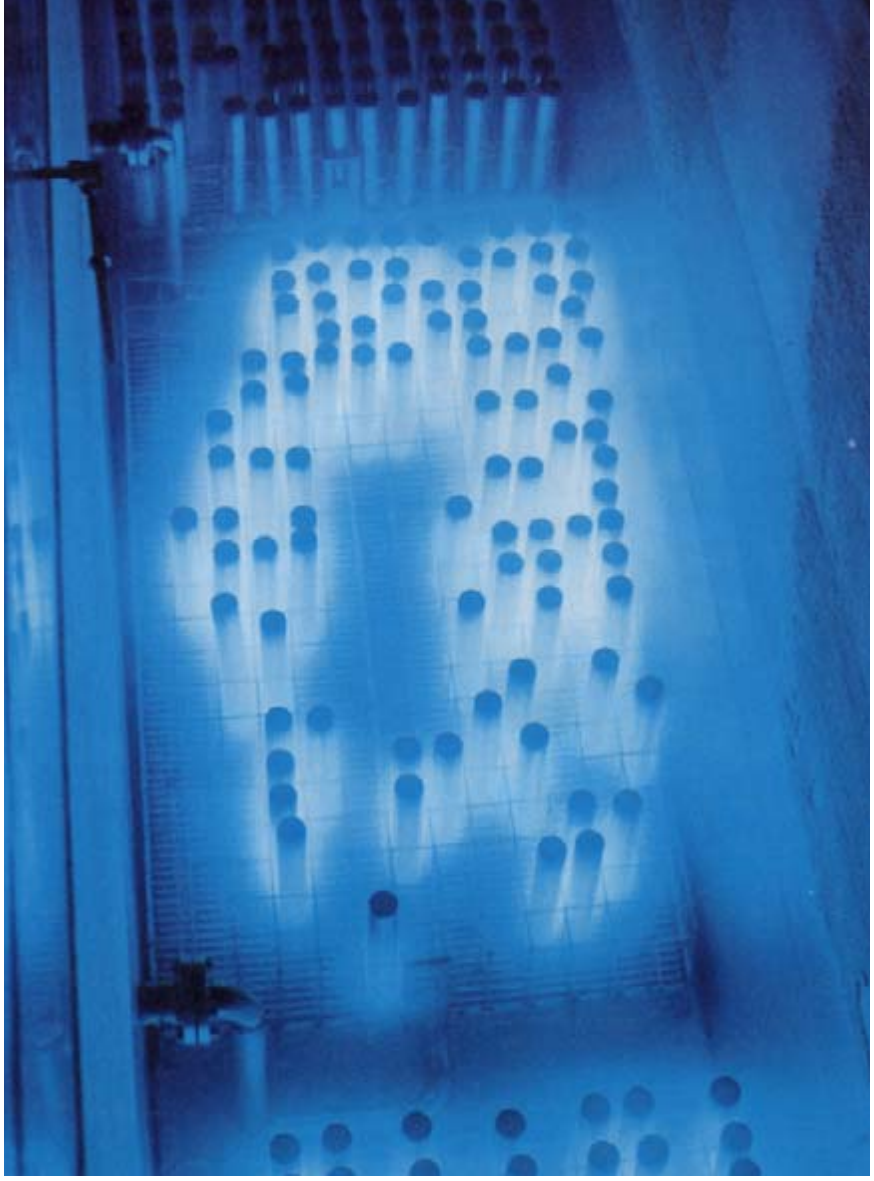


5. LOS CAÑONES DE REPROCESAMIENTO eran las instalaciones donde el combustible nuclear irradiado se disolvía en ácido nítrico y se trataba químicamente en sucesivas "cubas de procesamiento" para extraer sus minúsculas cantidades de plutonio. Las losas rectangulares del suelo son bloques que cubren las cubas. Todo el trabajo lo realizaban unas grúas y otras máquinas manejadas por control remoto; así se protegía a los trabajadores de las dosis letales de radiactividad.

Una selva jurisdiccional

Para enredar más las cosas, el Acuerdo Tripartito ha colocado Hanford bajo la jurisdicción de varios estatutos medioambientales; los dos más importantes son la Ley de Recuperación y Conservación de los Recursos (la RCRA) y la Ley Global de Responsabilidad Legal, Compensación y Respuesta Medioambiental (la CERCLA, conocida también como Superfondo). Ambas leyes especifican cuándo hay que limpiar un recinto contaminado. Pero la RCRA, administrada por el estado, se aplica principalmente a las instalaciones donde se trataron, almacenaron o depositaron desechos peligrosos, o donde se sigue haciendo aún. El Superfondo, ejecutado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente, cubre las instalaciones contaminadas que han dejado de estar en funcionamiento, y, a diferencia de la RCRA, se aplica tanto a residuos radiactivos como químicos. Las dos leyes requieren protocolos y procedimientos distintos.

En virtud de la forma en que el Acuerdo Tripartito aplica la normativa a Hanford, cualquier emplazamiento que conste de componentes activos e inactivos, que produzcan o hayan producido residuos peligrosos, queda sujeto *tanto* a la RCRA como al



6. LA RADIACION de las cápsulas con desechos de cesio y estroncio es tan intensa, que su interacción con el agua crea un resplandor que se percibe a simple vista. La radiación en la superficie de los recipientes es altísima: en cuatro segundos se desprende una dosis letal; el agua del estanque blinda de las emanaciones mortales el espacio suprayacente.

Superfondo. Para la Oficina General de Contabilidad, y no sólo para ella, semejante cobertura doble ha dificultado el desarrollo de cientos de proyectos medioambientales. La desactivación y descontaminación de los reactores nucleares del complejo caen en estos bajos momentos bajo las dos leyes. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA ha sabido que, para evitar la duplicación, los trabajos se atendrán en unos reactores a la RCRA y en los demás al Superfondo. La misma tarea, efectuada por el mismo contratista, se hará, pues, de dos maneras y tendrá dos expedientes diferentes.

El Acuerdo Tripartito aplica la RCRA y el Superfondo a los 177 depósitos de desechos de alto nivel. La aquiescencia del Departamento de Energía a esta cobertura doble "ha impedido el desarrollo de importantes opciones técnicas en la limpieza de Hanford y ha creado la posibilidad de un incremento potencial de los costes del orden de miles de millones de dólares", según un informe de enero de 1996 del Consejo Nacional de Investigación. El Departamento de Energía y sus reguladores intentan resolver el problema RCRA-Superfondo desde 1988, sin éxito hasta ahora.

Problemas a la vista

Por serias que sean las dificultades con las que se enfrenta el Departamento de Energía resultan de escasa monta en comparación con las que se avecinan. El Acuerdo Tripartito, por ejemplo, exige que el Departamento vitrifique los residuos de alto nivel de los 177 depósitos. En las instalaciones del río Savannah, en Carolina del Sur, se construyó una gran planta de vitrificación; costó dos mil millones más de lo presupuestado y se terminó seis años después de lo previsto.

Consciente de lo complicado que será convencer al Congreso de que suscriba otra iniciativa por el estilo, pero obligado por el Acuerdo Tripartito a vitrificar los residuos de Hanford, el Departamento de Energía busca ahora una o más empresas privadas que lo hagan. Tendrían que construir y encargarse de la planta, aceptar unas estrictas normas de seguridad y asumir todos los riesgos financieros. El Departamento pagaría los lingotes de cristal terminados, aportando a las firmas —en teoría—un beneficio. A la mayoría de los observadores les gusta la idea, pero se muestran incrédulos: "Uno de los mayores problemas que el Departamento ha tenido es su incapacidad de desviar los riesgos a las empresas privadas, de forma que si hay un gasto imprevisto o sucede algo catastrófico sea la empresa la que sufra las consecuencias", señala Abraham, de la Oficina General de Contabilidad.

Una vez vitrificados los residuos, el Departamento ha de llevarse los bloques, y parte de los desechos transuránicos de Hanford, para depositarlos en cementerios permanentes de otros estados de la Unión. Esto es lo que desea el estado de Washington y el Acuerdo Tripartito estipula. Pero en el camino que lleva a esa meta se levantan obstáculos extraordinarios. La oposición de los estados ha bloqueado la apertura de un cementerio de desechos transuránicos (que contengan plutonio y otros elementos cuyos números atómicos sean mayores que 92) en Nuevo México y la construcción de uno de residuos de alta actividad bajo el monte Yucca, en Nevada. El Departamento de Energía acaba de informar que el cementerio de Yucca no podrá estar listo antes de 2015; algunos expertos temen que la apertura sólo tendrá lugar decenios después de esa fecha, si es que se produce.

Aun cuando los cementerios entrasen en servicio, es poco probable que pudiesen guardar más que una pequeña fracción de los residuos de Hanford. Procedentes de estas instalaciones habría en el hipotético cementerio de Yucca unos 6000 bloques vitrificados. Pero de los residuos de alto nivel de los depósitos de Hanford saldrían entre 20.000 y 60.000 de esos bloques, según los últimos cálculos del Laboratorio Battelle. Se ha estimado que las cantidades de restos transuránicos de Hanford su-

perarían la capacidad del cementerio transuránico de Nuevo México, y éste, como Yucca, habría de recibir además los residuos de docenas de otras fuentes.

La vitrificación es uno de los problemas cruciales cuya solución ha sido imposible por culpa de las relaciones tirantes entre el estado de Washington y el departamento de Estado. ¿Habría que vitrificar todos los desechos de los tanques? ¿Habría que derribar los edificios de procesamiento? ¿Habría que trasladar los bloques y pedestales de 15.000 toneladas de peso al Area 200 y enterrarlos allí? ¿Habría que gastar cientos de millones de dólares en bombear y tratar unas aguas freáticas que nunca quedarán limpias? Son preguntas que se formulan los analistas y, en privado, los responsables del complejo.

El Acuerdo Tripartito exige que estas preguntas se respondan con un sí, pese a los análisis técnicos rigurosos que han argüido lo contrario. Algunos estudios, por ejemplo, han aconsejado que se conviertan los gigantescos edificios de reprocesamiento en cementerios de residuos de bajo nivel. Pero el Acuerdo descarta esa posibilidad. Otros problemas aguardan también su solución, entre ellos el de encontrar un destino final del plutonio y de las muchas toneladas de combustible nuclear consumido en Hanford.

Como siempre, será el dinero el que al final zanje las cuestiones. "El coste de una gran planta de vitrificación, eso sí que es dinero", dice el presidente de Westinghouse Hanford, LaMar Trego. "Tendrá, pues, que competir con la eliminación del plutonio, con Medicare [el seguro público de salud], con todo. El legislativo es consciente de que, al final, deberá abordar esa patata caliente", apostilla.

Pero ese final se acerca a pasos agigantados. Los recortes presupuestarios han alcanzado al Departamento de Energía. Un estudio, no publicado, de Battelle examina las estrategias de limpieza a la luz de una disminución esperada de la financiación anual "desde los niveles actuales [alrededor de 1400 millones de dólares] a 1050 millones en el año fiscal de 1998". Tras ese año, la financiación se mantendría más o menos constante durante los 40 años siguientes. El informe de Battelle halló que "para satisfacer los actuales compromisos y calendarios con el presupuesto proyectado de 1050 millones, habría que conseguir inmediatamente una reducción del 50 por ciento en el coste de la limpieza y mantenerla".

Dado lo improbable que es que se recorte el precio de la limpieza tanto y dado, sobre todo, el carácter vinculante de los acuerdos de cumplimientos, los Estados Unidos habrán de reconsiderar sus prioridades nacionales. Por ejemplo, los 6000 millones de dólares que el Departamento de Defensa gastará este año en conservar, estabilizar y limpiar sus complejos de armamento se quedan en nada comparados con otras partidas. Hace años que acabó la guerra fría, pero Estados Unidos gastará éste alrededor de 28.000 millones de dólares sólo en servicios de inteligencia, 8000 de ellos en satélites de reconocimiento y escucha y en programas asociados a ellos. El presupuesto militar del año en curso, cifrado en 270.000 millones de dólares, viene a ser el coste previsto de todos los proyectos de gestión medioambiental del Departamento de Energía a lo largo de los próximos cincuenta años.

"Sé que es necesario recortar los programas del gobierno y sacarles mayor partido, pero escatimarle la calderilla al presupuesto de limpieza del Departamento de Energía no hará más que aumentar el déficit a largo plazo", dice John Glenn, senador por Ohio en cuyo estado hay muchas instalaciones del Departamento. "Sobre el papel puede que parezca que está bien, pero sólo servirá para posponer el día que haya que rendir cuentas. Si no abordamos ese problema ahora, dejaremos a las generaciones futuras una pesada factura que será a la vez un desastre medioambiental y presupuestario."

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ON THE HOME FRONT: THE COLD WAR LEGACY OF THE HANFORD NUCLEAR SITE. Michele S. Gerber. University of Nebraska Press, 1992.

HANFORD TANK CLEAN UP: A GUIDE TO UNDERSTANDING THE TECHNICAL ISSUES. Roy E. Gephart y Regina E. Lundgren. Informe técnico PNL-10773, 1995. Puede solicitarse al Pacific Northwest Laboratory.

IMPROVING THE ENVIRONMENT: AN EVALUATION OF THE DOE'S ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PROGRAM. National Research Council, 1995.

TRAIN WRECK ALONG THE RIVER OF MONEY: AN EVALUATION OF THE HANFORD CLEANUP. Steven M. Blush y Thomas H. Heitman. Informe para el Comité de Energía y Recursos Naturales del Senado de los EE.UU., marzo 1995.

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

56

Estadísticas fraccionarias y topología
Jorge F. Gamboa, José L. Cortés y Luis F. Velázquez

La mecánica cuántica se introdujo a mediados de los años veinte para explicar la dinámica de las partículas subatómicas. La estadística fraccionaria y las teorías cuánticas topológicas, aunque surgidas desde perspectivas diferentes, son dos campos de investigación interrelacionados.

64

La preparación del atleta olímpico
Jay T. Kearney

En las competiciones que fuerzan los límites del rendimiento humano, la victoria puede depender de escasos centímetros o de décimas de segundo. Para superar unas marcas cada vez más exigentes los atletas modernos y sus entrenadores dirigen su atención a la ciencia y a la técnica.

74

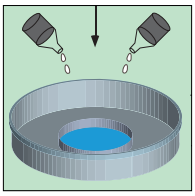
Cementerios nucleares
Glenn Zorpette

El complejo armamentístico cercano a Hanford, en el estado de Washington, fabricó plutonio durante toda la guerra fría. Los Estados Unidos se están gastando miles de millones de dólares para descontaminar este enorme recinto, pero nadie sabe cómo hacerlo ni cuán radical será la limpieza que se necesite.

SECCIONES

5 **Hace...**

30 **Perfiles**

32 

Ciencia y sociedad

Urolitiasis.

Juegos matemáticos

Las esculturas de Alan St. George.

38 **De cerca**

84 **Taller y laboratorio**

90 **Libros**

96 **Ideas aplicadas**